Ing. DIONISIE GERMANI
Prof. la Şcoala Politechnică din Bucureşti, Membru al Acad. Rom. de Ştiinţe

VIAŢA ŞI OPERA LUI COULOMB

Conferinţă rostită Duminică 19 Decembrie 1937
în Cadrul Adunării Generale Extraordinare a
Academiei de Ştiinţe din România

1938
TIPOGRAFIA A-B-C, — BUCUREŞTI STRADA LIPSCANI Nr. 5

BCU IAŞI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

„Revista Cursurilor şi Conferinţelor Universitare“ se află în anul II de apariţie lunară şi regulată; apare sub conducerea profesorului **Gh. Preduţ.**

Redacţia şi Administraţia: Str. Tunari 15 Bucureşti III. Tel. 2.98.70.

Colaboratorii numărului, din care s'a făcut acest extras, sunt:

I. *N. Iorga*, prof. la Univ. Bucureşti: Figuri Representative din Istoria Universală; oameni din Italia: Vittorio Alfieri, Contele Greppi, Papa Clement al XIV-lea.

II. *Constantin Sudeţeanu*, prof. la Univ. Cluj: Mediul Fizic şi influenţa lui asupra vieţii sociale.

III. *Kikusaburo Fukui*, Directeur de la Kokusai Bunka Shinkokai-Tokyo: Les Eléments Humains dans l'Art Céramique du Japon: Conférence faite au Tokyo Women's Club.

IV. *I. Gr. Perieţeanu*, avocat, preşed. Uniunii Avocaţilor din România: Prin Italia, Turcia şi Polonia.

V. *Dionisie Germani*, inginer, prof. Şc. Politechnică, Bucureşti: Viaţa şi Opera lui Coulomb

VI. *Eugen Apostoleanu*, prof. univ.-doctor: Incotro merg ştiinţele medicale?

VII. *Andrei Popovici*, comandor-aviator: Două mari figuri de sburători dispăruţi: Marinarul Gonta şi Călăreţul Zorileanu.

VIII. *Nicolae Codreanu*, ing. Preşedintele „Asociaţiei Aviatice C. F. R.“: Aviaţia şi Tineretul.

IX. *Alexandru Lapedatu*, prof. universitar, Preşed. Academiei Române: Figuri revoluţionare româneşti; Ion Câmpineanu.

BCU IASI/CLUJ/TIMISOARA LIBRARY

Ing. DIONISIE GERMANI
Prof. la Școala Politechnică din București, Membru al Acad. Rom. de Științe

13 MAI. 1938
Biblioteca Universității
ale 18.434

VIAȚA ȘI OPERA LUI COULOMB

Conferință rostită Duminică 19 Decembrie 1937
în Cadrul Adunării Generale Extraordinare a
Academiei de Științe din România

1938
TIPOGRAFIA A-B-C. — BUCUREȘTI STRADA LIPSCANI Nr. 5

BCU IAȘI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1736—1806

Viața și opera lui Coulomb

Academia de Științe din România a ținut la rândul ei să cinstească în această Adunare Generală de toamnă, memoria marelui inginer și fizican *Coulomb*, al cărui bicentenar a fost sărbătorit în Franța la începutul anului, de către diverse instituțiuni științifice, iar la noi, mai recent, de către Societatea Politechnică și Institutul Român de Energie.

Caracterizare.

Pe *Coulomb* îl revendică cu același titlu, atât inginerii, pe a căror breslă a ilustrat-o cu lucrări remarcabile, cât și fizicienii și în special adepții științei Electricității, la edificiul căreia *Coulomb* a așezat una din principalele pietre de temelie. Technician prin pregătire și temperament și totodată pasionat pentru matematică și fizică, el a știut să se ferească de speculațiunile fanteziste și să creeze teorii coerente, mereu confruntate cu realitatea și con-

trolate prin măsurători precise. Opera lui, eşită din fericita împletire a resurselor sale de teoretician scrupulos şi abil experimentator, a fost atât de fecundă, în cât el poate fi privit, cu drept cuvânt, alături de *Galileu, Newton* şi *Huygens*, ca unul din fondatorii fizicei cantitative. In munca lui, închinată ţărei sale şi ştiinţei, *Coulomb* a fost călăuzit, de o înaltă idee morală, aceea de a spori cunoştinţele şi confortul semenilor săi.

Pentru el, după cum însuşi se exprimă, *„ştiinţele sunt monumente consacrate binelui public şi fiecare cetăţean le datoreşte un „tribut proporţionat cu talentele sale"*.

Activitatea lui ca ofiţer de geniu, funcţionar şi academician se desfăşoară într'un ritm continuu de progres, fiind întreruptă numai de revoluţiunea franceză.

Date biografice sumare.

După *Delambre*, care i-a scris biografia, *Charles Augustin Coulomb* s'a născut în 1736 în Angoulème, dintr'o familie nobilă originară din Montpelier. O parte din studiile lui le-a făcut la Paris şi încă din tinereţe a arătat un viu interes pentru matematică, intrând în armată aproape contra voinţii lui. El a preferat în orice caz arma geniului, care convenea mai bine înclinării sale pentru ştiinţă.

La moartea ilustrului *Vauban*, Franţa îşi avea graniţele acoperite de o reţea de fortificaţii, dar în secolul al XVIII-lea inamicul ei adevărat era aproape invariabil Anglia; de aceia s'a căutat să se întărească porturile şi punctele strategice depe coastă, atât pe teritoriul naţional cât şi în colonii.

Coulomb este trimis mai întâi în Martinica, care, fiind restituită Franţei după războiul de şapte ani, urma să fie fortificată mai sistematic de către o misiune militară, din care făcea parte şi *Coulomb*.

Primele studii în Martinica asupra rezistenţei şi frecărei.

Aşa dar, *Coulomb* îşi începe cariera ca constructor de fortificaţii. Studiile lui asupra *echilibrului bolţilor* şi *rezistenţei zidurilor de sprijin* erau consemnate într'un memoriu, destinat la început numai uzului său propriu. El adună legile, cunoscute până la el, asupra *frecării* şi *coesiunii*, punând la contribuţie şi experienţele sale.

Astfel măsoară rezistenţa la rupere prin tracţiune şi prin tăere

a pietrelor și cărămizilor în condițiuni diverse, întocmind asupra ruperei corpurilor o teorie, care multă vreme a fost clasică, putând fi dată și astăzi ca exemplu de precizie și rigoare. Metoda lui asupra principiilor rezistenței materialelor este, precum însuși o califică la începutul lucrării: *„un amestec de calcul și de fizică"*.

Memoriul din 1773 și numirea ca membru corespondent al Academiei de Științe.

Răspândirea calculului integral și diferențial și a mecanicei raționale crease o atmosferă științifică, ce profita în primul rând technicei, care până atunci era bazată pe empirism; această atmosferă a fost prielnică aptitudinilor și cercetărilor lui *Coulomb*. După studii teoretice lungi însoțite de experiențe sistematice, publică în 1773 acest prim memoriu *„Asupra aplicării principiilor de maxime și minime la diferite probleme de arhitectură"*, lucrare care îi atrage numirea ca membru corespondent la Academia de Științe.

Interesante sunt titlurile și ordinea paragrafelor, cari mai în toate memoriile sale sună: „Lucrări teoretice și experimentale a-„supra...; preliminarii teoretici generale și precise; montarea apara-„telor; descrierea experiențelor și rezultate numerice; observațiuni „teoretice inspirate de faptele observate: noui experiențe suggerate „de aceste observații", și așa mai departe, până la concluziunile finale și aplicațiunile practice.

Fenomenul frecărei, care intră în expresia randamentului oricărei mașini și instalațiuni și care multă vreme fusese neglijat pentru motive de simplificare a problemelor de mecanică, îl preocupă deopotrivă ca și elasticitatea corpurilor, încă din timpul șederii în Martinica, leagănul tuturor cercetărilor lui.

Memoriul din 1779; principiile teoriei rezistenței materialelor și legile frecărei.

Chiar memoriul său din 1779 *„Asupra teoriei mașinilor simple"* premiat la concursul instituit de Academia de Științe, este fructul acelorași serioase studii, cristalizate în jurul unor subiecte, cari l'au preocupat încontinuu și în peregrinațiile lui ulterioare, la Ile d'Aix, Rochefort, Cherbourg și în fine la Paris, unde îl vom vedea înapoiat la 1781.

Deși prin lucrările anterioare se știa că frecarea e independentă de suprafață și proporțională cu presiunea părților în contact, și că frecarea unui corp în mișcare este mai mare decât aceea di-

nainte de pornire, meritul lui *Coulomb* este de a fi precizat legile frecării și de a le fi demonstrat printr'o serie de experiențe riguroase.

Datorim d-lui *Emil Bauer*,[1]) care a cercetat amănunțit toate memorile lui *Coulomb*, o analiză a lor succintă, cu numeroase citate. In menționatul memoriu *Coulomb* spune textual că determină *„pri-„mul efort necesar pentru a învinge frecarea și a face să alunece „o suprafață după un timp de repaus dat"*. El verifică legea frecării formulată de *Amontons* și studiază influența materiilor lunecătoare ca lemnul, diverse metale uscate sau unse și apoi măsoară frecarea suprafețelor în mișcare. Observând că o sanie, alunecând sub acțiunea unei forțe constante, ia o mișcare uniform accelerată, deduce că frecarea este independentă de viteză, cel puțin ca primă aproximație. Analog ca în cazul repausului, constată că și în mișcare frecarea este proporțională cu greutatea totală, având însă un coeficient de proporționalitate de 4 sau de 5 ori mai mic. Toate aceste fapte le interpretează, admițând că frecarea nu poate proveni de cât din angrenarea asperităților suprafeței, fără intervenția sensibilă a coerenței. Mai departe *Coulomb* studiază cel dintâi frecarea de rostogolire și frecarea osiilor. In fine, cum lucrarea privea aplicațiunile la mașini utilizate în marină, ca: roata cu șanț, cabestanul și planul înclinat, el face teoria completă a acestor mașini, dând chiar și exemple numerice.

Memoriul din 1777 asupra acelor magnetice. Legile torsiunei. Rezistența aerului.

Incă dela 1777, prin cercetările lui asupra busolei, provocate de un concurs anterior al Academiei de Științe, a măsurat frecarea vârfului pivoților și influența ei aspura echilibrului final al acelor magnetice, reluând mai târziu aceste experiențe în vid și în aer.

Concursul acela a avut darul să-l orienteze în același timp spre studiul magnetismului și torsiunei și apoi către electrostatică. El publică memoriul său *„Cercetări asupra modului cel mai potrivit pentru a fabrica ace magnetice"*, cu scopul, mărturisit de el, *„de a „servi umanitatea și patria, încercând a perfecționa instrumentul ca-„re dirijează mersul vaselor și care, așezat în centrul unui orizontal „vast și uniform, trasează o linie de direcție cunoscută"*. Depășind importanța și obiectul concursului, el atacă problema în savanți, stabi-

1) Bulletin de la S-té Française des Electriciens Fevrier 1937.

lind în prealabil două principii, pe care le demonstrează riguros, și anume: câmpul magnetic terestru este uniform într'un loc dat; acțiunea lui asupra unui magnet se reduce la un cuplu proporțional cu sinusul unghiului format de magnet cu poziția sa de echilibru.

Pentru a explica fenomenele magnetice conchide că trebue neapărat recurs la admiterea unor forțe atractive și repulsive, analoage cu greutatea corpurilor și cu forțele mecanicei cerești, afirmând astfel concepțiile newtoniene, cari vor cârmui fizica timp de un secol, dar cari, în particular în magnetism, vor trebui mai târziu abandonate.

Bazându-se pe principiile fundamentale stabilite de el și ținând seama de frecare, *Coulomb* pune problema *echilibrului și mișcării unui ac magnetic* în ecuație, pe care o integrează pentru micile oscilațiuni, arătând cum din perioada lor se poate deduce momentul forței magnetice, și astfel stabilește criteriul de comparație între diversele ace.

Pentru a determina forța magnetică a lamelor în funcțiune de lungimea, lățimea și grosimea lor, face o serie considerabilă de experiențe, în cari, pentru a elimina cât mai mult frecările, suspendă aceste lame orizontal prin fire de mătase foarte flexibile.

In cursul experiențelor își pune întrebarea dacă durata oscilațiilor, în legătura ei cu forța magnetică, nu este cumva sensibil influențată de reacția elastică a firelor de suspensie. In consecință măsoară forțele de torsiune a firelor de păr și de mătase, suspendând în centrul lor mici piese de aramă rotunde și măsurând perioada lor de oscilație.

Din aceste experiențe, destinate scopului precis menționat, fiind condus a ataca o nouă problemă importantă, deduce legile fundamentale ale torsiunei: *cuplu independent de greutatea suspendată, proporțional cu unghiul de torsiune și cu inversul lungimii firelor.* In ceeace privește influența diametrului, el se exprimă cu prudență, deoarece dificultatea de a asigura omogenitatea firului și de a măsura diametrul unui fir atât de fin a făcut să varieze rezultatele.

Valorile absolute, găsite pentru cuplul de torsiune, au arătat în orice caz că, pentru firele de mătase, acest cuplu poate fi neglijat în raport cu cuplurile magnetice.

Măsurarea decrementului oscilațiilor unui magnet și a unei lame de cupru, suspendate de un fir, permite lui *Coulomb* să intre în-

tr'un nou domeniu şi să înceapă studiul rezistenţei aerului în mişcările foarte lente.

Determină apoi câmpul de indiferenţă al unui ac de busolă, purtat de un pivot, adică unghiul format de toate direcţiile pe care le poate lua în repaus acul în jurul meridianului. In fine, discutând rezultatele sale cu ajutorul ecuaţiunei generale a mişcării, reuşeşte a compara momentul forţelor magnetice cu momentul frecării pe pivoţi.

Acest memoriu din 1777, purtând, un titlu atât de modest, este totuşi cel mai important, fiindcă în el găsim plămădeala tuturor lucrărilor pe cari le-a dat *Coulomb* asupra *torsiunei, magnetismului* şi *frecărei*, chestiuni cari au format preocuparea constantă a geniului său, manifestat aci în toată plenitudinea lui.

Experienţele foarte variate ale lui *Coulomb* asupra influenţei mutuale a doi magneţi permanenţi alăturaţi, asupra variaţiunei momentului magnetic al lamelor în funcţie de dimensiunile lor, l'au condus la teoria câmpului demagnetizant, cum se numeşte astăzi. *„Fiecare punct al unui magnet sau al unei lame magnetizate poate „fi considerat ca polul unui mic magnet, care tinde a produce în „celelalte puncte ale lamei o forţă de nume contrariu aceluia pe care „îl are punctul însuşi"*. Rezultă că: *„dintre două lame de aceiaşi greutate şi lungime, magnetismul va fi mai mare la aceea a cărei lărgime este mai mare... Dacă o lamă este tăiată în două, fiecare din părţi, magnetizată la saturaţie, va primi un grad mai mare de magnetism decât atunci când ele erau unite"*.

Studiu asupra metodei cu aer comprimat pentru executarea de lucrări sub apă.

In 1779 *Coulomb*, care prin funcţiunile lui trebuia să se ocupe cu chestiuni foarte diverse, publică, pentru executarea lucrărilor sub apă, un studiu în care descrie un clopot cu aer comprimat, alimentat de un compresor, şi care se poate considera ca strămoşul chesoanelor de astăzi, întrebuinţate la construcţia sub apă a tunelurilor, pilelor şi culeelor de poduri.

Reîntoarcerea la Paris. Memorii fundamentale asupra torsiunei, electricităţei şi magnetismului.

Sănătatea lui fusese compromisă în colonii, dar abia după şapte ani a putut fi repatriat şi, în urma unor stagii făcute în localităţile menţionate mai sus, este chemat la Paris în 1781.

După o întrerupere de câțiva ani, în care timp s'a ocupat de frecare și de morile de vânt, *Coulomb* își reia cercetările și publică între 1784 și 1789 o serie de opt memorii fundamentale asupra *torsiunii, elasticității* și *magnetismului.*

Memorii asupra torsiunei. Balanța de precizie. Rezistența aerului.

In 1784 apare mai întâi scrierea sa: *„Lucrări teoretice și experimentale asupra forțelor de torsiune și elasticității firelor de metal"*. In acest studiu el reia în mai bune condițiuni și cu mai multă precizie experiențele din 1777, regăsește rezultatele anterioare și stabilește legea exactă asupra influenței diametrului, exprimată prin formula $C = \frac{p.D^4.\alpha}{l}$ unde p este *modulul lui Coulomb* sau *rigiditatea torsiunii.* Iată cum explică clar și simplu prezența puterii a 4-a a diametrului ca factor: „să luăm „două fire de aceiași natură și de aceiași lungime, diametrul unuia „fiind de 2 ori mai mare ca al celuilalt; este evident că la firul cu„diametrul dublu sunt părți întinse prin torsiune de 4 ori mai multe „decât în primul, și că întinderea medie a tuturor acestor părți va „fi proporțională cu diametrul firului, tot astfel și brațul de pâr„ghie mijlociu relativ la axa de rotație. Rezultă că forța de torsiune „este proporțională cu a 4-a putere a diametrului".

Coulomb măsoară în valoare absolută *rigiditatea de torsiune* a firului și cuprului și apoi notează că *„după teoria care precede „și experiențele pe care ea este bazată, se vor putea măsura forțe „foarte mici cari cer o precizie, ce nu o pot furniza mijloacele ordinare"*. El construește o balanță pentru a măsura frecarea fluidelor contra solidelor și anunță construcția unei balanțe electrice și a unei balanțe magnetice; în fine, studiază alterarea forței elastice la torsiunea firelor de metal adică deplasările punctului zero și frecarea internă, pe a cărei teorie o schițează, făcând distincție între elasticitatea metalelor, care se poate considera ca perfectă (ascultând de legea lui *Hooke)* și coerența, care este constantă.

In afară de aceasta, balanța sa hidrodinamică îi permite a arăta că forța constantă atribuită de *Newton* aderenței în formula, care exprimă frecarea suprafeței unui corp solid ce se mișcă în lichid, este, în cazul apei, neglijabilă. La micile viteze frecarea variază proporțional cu vitesa, iar la cele mari cu pătratul vitesei. In 1801 reia aceste experiențe asupra coerenței fluidelor și legilor rezis-

tenței lor la mișcările foarte lente, într'o lucrare mai complectă, în care arată că această rezistență este o funcție de formă binomă: $au+bu^2$ și în care compară apa cu uleiul.

Cunoștințele asupra electricității până la Coulomb.

In *Electrostatică* pentru a se aprecia la justa-i valoare opera lui *Coulomb*, ea trebuie proectată pe fondul cunoștințelor din epoca eroică a precursorilor, care a precedat lucrările nemuritoare ale lui *Ampère* și *Faraday* și al cărei, *Coulomb* a fost cel mai ilustru reprezentant.

Voiu schița după d-l *Louis Cahen*, starea acelor cunoștințe despre electricitate.

La începutul secolului al XVII-lea *Gilbert* în Anglia începu cercetări sistematice în electrostatică, dar abia în 1745 s'a stabilit că electricitatea este o proprietate universală a materiei, iar pe baza experiențelor lui *Grey* s'a făcut distincția corpurilor în *conductori* și *izolanți*.

Dufay în Franța a arătat existența a două fluide electrice, *răşinos* și *sticlos*, opinând că orice corp izolant nu poate emite prin frecare decât un singur fel de electricitate, dar că toate corpurile pot primi fie unul, fie celălalt, prin influență sau conducțiune. Descoperirea buteliei de Leyda a lărgit orizontul cercetărilor, punându-le la îndemână noui mijloace, dar închegarea unei teorii generale a fenomenelor era încă departe de a se putea produce.

Descoperirea conductibilității a deschis un câmp nou de studii și, după ani de discuțiuni contradictorii, s'a stabilit că starea neutră a corpurilor provine nu din absență ci din unirea sarcinilor electrice de feluri diferite, fie dinainte, fie după ce ele au fost despărțite prin electrizare.

Franklin a arătat că frecarea între două corpuri produce două electrizări egale și contrarii: *pozitivă* și *negativă*. Deși *Dufay* constatase că sticla se electrizează pozitiv, în 1743 *Canton* și *Wilke* demonstrează că sticla se poate electriza și negativ, iar ceva în urmă experiențele au confirmat că, chiar prin frecare, toate corpurile pot primi fie un fel fie celălalt de electricitate. *Franklin*, prin aceiași epocă, și-a formulat teoria asupra fluidului electric unic, compus din particule de o extremă finețe, capabile de a pătrunde în materie, respingându-se între ele, dar atrăgând din contra particulele materiale. Electrizarea negativă ar corespunde unei rare-

fieri a fluidului, cea pozitivă unei concentrări, iar starea neutră unei anumite distribuțiuni a fluidului și a materiei, astfel ca interacțiunile lor să se echilibreze. Această teorie a fost combătută de *Symmer*, care admitea existența a două fluide, dar, până la epoca noastră, ambele teorii au avut partizanii lor printre oamenii de știință. Este adevărat că teoria electronică a adus o soluție, de altfel mai apropiată aceleia a lui *Franklin*, arătând legătura dintre particula electrică: *electronul* și particula materiei: *nucleul atomic;* totuși, în privința fenomenelor electrostatice, acestea se puteau explica prin ambele teorii.

Pentru a interpreta efectul electrizării prin influență, în 1758 englezul *Canton* și germanii *Aepinus* și *Wilke* au arătat că este vorba de despărțirea celor două electricități într'un conductor supus la sarcini exterioare. Tot în corpurile conducătoare s'a examinat chestiunea distribuției electricității, iar englezul *Cavendish* într'un memoriu teoretic a stabilit că această distribuție se face pe baza legei probabile, dar neverificate, a acțiunii invers proporționale cu pătratul distanței. A urmat studiul condensatorilor și constatarea descărcărilor reziduale, iar *Aepinus* a arătat că condensarea rezultă din apropierea a două suprafețe conducătoare, separate printr'un izolant.

Pe lângă aceste rezultate, cunoscute dela 1775, în studiul conductorilor, *Wilke*, pe baza unor experiențe mai mult sau mai puțin bine interpretate, a fundat o teorie a *dielectricilor*, premergătoare aceleia a lui *Faraday*. Noțiunea *puterei inductoare specifice* aparține însă lui *Cavendish*, a cărui notă respectivă inedită a fost publicată de *Maxwell* abia un secol mai târziu. Fenomenele electrice erau astfel din ce în ce mai bine lămurite calitativ, dar lipsea instrumentul de măsură potrivit, care trebuia în orice caz bazat pe efectele de atracțiune sau de repulsiune.

Încă din secolul al XVII-lea au apărut aparate indicatoare, *electroscoape*. *Gilbert*, *Dufay*, *Nollet* și *Grahath* (1746) au imaginat diverse instrumente însă foarte puțin sensibile. *Leroy d'Arcy* (1749) și chiar *Bernoulli* (1760) au construit electrometre după modelul unui aerometru de sticlă, al cărui gât purta o plachetă metalică.

Toate aceste aparate erau foarte departe, ca sensibilitate și precizie, de acelea întrebuințate de *Coulomb*, și totuși pela 1775 nu se stabilise încă riguros legea cantitativă. *Aepinus* în tratatul său teoretic din 1759 admitea o lege de proporționalitate inversă cu o

putere cuprinsă între 1-a şi 3-a. *Cavendisch* în 1771 a considerat legea proporţionalităţii inverse cu pătratul distanţei ca cea mai probabilă, aplicând-o la aflarea distribuţiei electricităţei. *Bernoulli* precum şi Dr. *Robinson* par a fi verificat experimental această lege, fără însă a o publica, iar între 1750 şi 1780 diverşi autori au indicat-o pentru magnetism. Multe din lucrările citate, cari au umplut o perioadă de circa cincizeci de ani, nu fuseseră publicate, iar altele au avut doar o publicare restrânsă, fără a ajunge la cunoştinţa lui *Coulomb*. In tot cazul ele nu aveau o bază experimentală solidă şi nu se pot compara cu opera temeinic şi metodic începută şi dusă la bun sfârşit de *Coulomb*.

Primul memoriu asupra electricităţei. Balanţa electrică.

Prima lucrare a lui *Coulomb* asupra electricităţii are ca titlu: *„Construcţia şi întrebuinţarea unei balanţe electrice, bazată pe proprietatea firelor de metal de a avea o forţă de torsiune proporţională cu unghiul de torsiune"*.

Din cauza forţelor extrem de slabe la mici distanţe, *Coulomb* a simţit nevoia unui instrument sensibil. Ii trebuia un corp uşor, graţie căruia cel mai mic efort să producă efecte apreciabile şi astfel s'a gândit să utilizeze firul cel mai flexibil, care opune tendinţei de torsiune o infimă rezistenţă. Numai graţie unui asemenea instrument sensibil şi precis a putut mai târziu stabili definitiv legea *repulsiilor* şi *atracţiunilor electrice* şi *magnetice, până la el* numai vag bănuită.

De aceia nimeni nu dispută astăzi aportul lui *Coulomb* în Electrostatică, iar recunoştinţa unanimă i-a fost consacrată prin desemnarea cu numele său a unităţei *cantităţii de electricitate*.

Aparatul său original permite a se măsura forţe de 0.0013 dynă. Detaliile ingenioase abundă: pârghia balanţei este un fir de mătase, unsă cu ceară, sau un paiu, deasemenea uns cu ceară şi terminat pe o lungime de 4.06 cm printr'un fir cilindric de gommelaque. *Coulomb* a executat mici electrometre şi mai sensibile: unul din ele cu fir de mătase având o pârghie de mai puţin ca 3 cm în gommelaque se poate răsuci cu o circonferinţă întreagă de o forţă mai mică ca 0.00009 dynă.

Al doilea memoriu. Legea atracţiilor şi repulsiilor electrice şi magnetice.

Abia într'un al doilea memoriu din 1785 *Coulomb* determină legea *atracţiunilor* electrice, în cazul cărora trebuia ca *produsul*

masselor electrice ale celor 2 sfere să fie destul de mic pentru ca sferele să nu se atingă. Este de notat că expresia de *massă electrică* se găsește aici pentru prima oară în lucrările lui *Coulomb*, ca și cum s'ar fi înțeles dela sine. Pentru a verifica rezultatele prime și a obține altele pe o cale mai comodă, el imaginează și o a doua metodă experimentală, stabilind legea după care un glob mai mare atrage un mic corp, electrizat cu electricitate contrarie. Această metodă este analoagă cu cea întrebuințată pentru determinarea forței magnetice a unei bare de oțel. Ea constă în a suspenda un ac orizontal având numai extremitatea electrizată și care, adus la oarecare distanță de globul electrizat, este atras, oscilând în virtutea acțiunii globului .Forța atractivă la diferite distanțe se determinată prin calcul după vitesa oscilațiunilor.

Coulomb observă că această metodă mai permite determinarea modului cum se împarte electricitatea între glob și un conductor de o formă oarecare.

Experiențele asupra magnetismului sunt bazate deasemenea pe ambele metode: aceea a *balanței* cu ace foarte lungi (65 cm.) și aceea a *oscilațiilor*. In toate cazurile *Coulomb* face corecțiunile necesare pentru a ține seamă de câmpul magnetic pământesc și de interacțiunea polilor depărtați. El determină chiar direct poziția polilor, adică a centrelor de acțiune magnetică, la fiecare ac. La începutul acestor cercetări asupra legilor acțiunii magnetice se plasează o notă asupra acțiunei atractive și repulsive a corpurilor după legea distanțelor și care este aproape identică cu lema I-a a unui memoriu fundamental al lui Cavendish asupra teoriei electricității.

Dar, dacă este probabil, spune Dl *Bauer*, că *Coulomb* cunoștea lucrarea predecesorului său, unele observațiuni interesante de fizică îi aparțin cu siguranță. Astfel se demonstrează că, într'un mediu continuu, dacă acțiunile între elementele corpurilor descresc într'un raport mai mic decât cubul distanțelor, fiind de exemplu invers proporționale cu acestea, predomină acțiunile la distanța finită; „în cazul „însă când acțiunea moleculelor descrește proporțional cu cubul dis„tanțelor sau mai repede, nu se pot produce acțiuni mutuale, decât la „distanțe infinit mici". Din acest calcul pare a rezulta, scrie *Coulomb*, că coeziunea, elasticitatea și toate afinitățile chimice, unde elementele corpurilor par a nu avea acțiune decât foarte aproape de punctul de contact, nu pot fi datorite decât unor forțe variind invers pro-

porțional cu cubul sau cu o putere superioară a distanțelor. Se mai poate ca toate afinitățile chimice să depindă de două acțiuni, una repulsivă alta atractivă, analoage cu acelea pe care le găsim în electricitate și în magnetism.

Memoriul asupra deperdiției electricității (III).

Deperdiția electricității a fost o cauză perturbătoare în toate experiențele sale, și deaceia *Coulomb* a întreprins studiul acestui fenomen într'un al treilea memoriu (1785), analizat în tratatul de electricitate statică a lui *Mascart*. *Coulomb* observă foarte just că două cauze par mai ales a contribui la pierderea electricității: prima este faptul probabil, că în natură nu există nici un suport perfect izolant, aerul fiind totdeauna încărcat cu umiditate; aceasta aderă la suprafața corpurilor *idioelectrice* (izolante) într'o cantitate mai mare sau mai mică, după gradul de umiditate a aerului și după cum corpul idioelectric, prin natura lui, are, față de apă, o afinitate mai mare sau mai mică decât particulele aerului. A doua cauză este conductibilitatea proprie a acestuia.

Cum pe atunci nu se cunoștea conductibilitatea izolanților, *Coulomb* atribuie puțină importanță surportului din punct de vedere al pierderilor, și presupune chiar că o tije lungă de gommelaque, suportând o sferă încărcată slab cu electricitate, izolează perfect.

Pentru *Coulomb* nu există decât, ori conductori perfecți ori izolanți perfecți; un conductor imperfect, de ex. un suport umed, este constituit din molecule perfect conducătoare, despărțite prin intervale idioelectrice și, spune el. trebue un oarecare grad de forță pentru ca electricitatea să poată trece dela o moleculă la alta.

Conductibilitatea solidelor este deci, după el, datorită unei serii de fenomene distruptive, sau aparține legilor *frecării în repaus*. Din contră el atribuia aerului un rol mai important în deperditie, spunând că fiecare moleculă de aer, care atinge un corp electrizat se încarcă mai mult sau mai puțin repede, după cum densitatea electrică a corpului este mai mare sau mai mică, iar aerul mai mult sau mai puțin umed; îndată ce molecula este încărcată, ea este respinsă de corpul electrizat și înlocuită de alta, care la rândul ei este electrizată și respinsă. Această imagine teoretică a persistat până la finele secolului trecut.

Legea sa exponențială de deperditie, ca toate legile stabilite de

Coulomb, este în orice caz exactă. Abia experienţele mai recente au lămurit puţin aceste fenomene complexe şi astăzi se ştie că nu există un solid perfect izolant, că umiditatea aerului nu lucrează decât asupra suporţilor conform cu primele idei ale lui *Coulomb*, iar conductibilitatea aerului este complect datorită ionizării lui, mai mult sau mai puţin accidentale.

Principiile Electrostaticei (IV).

In memoriile următoare IV (1786), V (1787), VI (1788) *Coulomb* tratează probleme de distribuţie a electricităţii pe conductori. In primul din ele stabileşte două principale proprietăţi ale fluidului electric: 1) că acest fluid nu se răspândeşte în nici un corp printr'o afinitate chimică sau o atracţie electrică, dar că se împarte între diferitele corpuri, puse în contact, numai prin acţiunea lui repulsivă 2) că fluidul, ajuns la starea de stabilitate, se găseşte răspândit pe suprafaţa corpurilor fără a pătrunde în interior.

Primul principiu se demonstrează uşor, verificând cu ajutorul balanţei că 2 conductori de aceiaşi mărime şi formă, dar din materii diferite, puse în contact, îşi împart în mod egal sarcina electrică .

Pentru a demonstra al 2-lea principiu, *Coulomb* a imaginat un detector: *planul* sau *discul de probă*. Pe un suport izolant se aşează un conductor de o formă oarecare (un cilindru), având mai multe găuri de mică adâncime, şi se încarcă cu ajutorul buteliei de Leyda. Pe de altă parte la extremitatea unui mic cilindru de gommelaque se izolează un mic disc de hârtie aurită de 0.34 cm diametru, constituind detectorul, cu care se constată că, în fundul găurilor conductorului nu există nici o urmă de electricitate, aceasta fiind în întregime răspândită pe suprafaţa exterioară.

Iată acum teoria lui *Coulomb* asupra acestei experienţe. Cum discul aurit are o suprafaţă minimă, el devine o parte a suprafaţei cilindrului pe care îl atinge, şi ia prin urmare o cantitate de fluid electric egală cu a părţei de suprafaţă pe care o acoperă.

In fine, prin o metodă destul de diferită de cele moderne, demonstrează că, în echilibru, distribuţia superficială a fluidului electric este o consecinţă a legii de respingere a acestor elemente, invers proporţional cu pătratul distanţelor. El stabileşte în mod mai general că „un fluid, conţinut într'un corp unde se poate mişca „liber, dacă lucrează prin respingere între toate elementele lui, „cu o forţă variind mai încet de cât proporţional cu inversul cu-

„bului, după cum de ex. pentru electricitate a găsit un raport in-„vers cu pătratul distanței, fluidul trebue să se transporte la su-„prafața corpului, neputând rămâne în interiorul său". *Cavendisch* anunțase o propoziție analoagă în memoriul său din 1771, dar cu mult mai puțină precizie și simplicitate.

Distribuția electricității (V și VI).

In cele două memorii următoare se tratează probleme de distribuția electricității între conductori de forme diverse, sfere, în contact sau depărtate, planuri, cilindri, vârfuri, etc. Măsurile precise făcute în general cu ajutorul discului de probă și al balanței, experiențele variate, calculele ingenioase bazate pe legea atracțiilor și repulsiilor electrice, toate stârnesc admirația. In aceste probleme grele *Coulomb* procedează prin metoda aproximațiilor succesive, ce poate fi privită ca o primă schițare a teoriilor matematice ale lui *Poisson* și lordului *Kelvin* și care, de cele mai multe ori, îi permite a se apropia în deajuns de realitate.

Iată două puncte esențiale din ultimul memoriu menționat, care încununează opera lui *Coulomb* în electrostatică.

El descrie o nouă experiență, care i se pare a demonstra încă odată, într'un mod deciziv, că fluidul electric se distribue la suprafața corpurilor. Izolând un conductor pe care îl electrizează, îl acoperă cu o îmbrăcăminte conducătoare, deasemenea izolată, compusă din două părți, de o formă ce poate diferi de aceea a corpului, dar cari, unindu-se, lasă un mic joc între ele și corp. La retragerea îmbrăcămintei găsește că toată electricitatea corpului a trecut pe aceasta, corpul rămânând în stare neutră.

O experiență analoagă fusese făcută de *Cavendish* în 1771, fără însă a se publica.

In menționatul memoriu se mai găsește demonstrația riguroasă și generală a ceeace se numește astăzi teorema lui *Coulomb*, re lația între densitatea superficială a electricității pe un conductor și câmpul electric în vecinătatea lui imediată. Iată istoricul interesant al acestei descoperiri.

Coulomb cunoștea teoremele fundamentale ale lui *Newton* și a urmașilor acestuia asupra acțiunii la distanță a straturilor sferice sau plane; câmpul unui strat sferic uniform de densitate σ este precum se știe nul într'un punct interior și egal cu $4\pi\sigma$ în exterior foarte aproape de strat. Pe însăși sferă, un calcul elementar arată că are valoarea $2\pi\sigma$. *Coulomb* a aplicat aceste rezultate conducto-

rilor, sferici sau plani, estinzându-le asupra conductorilor de orice formă după un raționament, devenit clasic.

Memoriu asupra magnetismului.

In ultima lucrare a lui *Coulomb*, terminată înainte de revoluție (1789) și consacrată magnetismului, se compară între ele momentele magnetice ale diferitelor ace de oțel și se determină acțiunea diferitelor puncte ale unui ac magnetizat, după poziția lor față de extremitățile acului. Mai departe el încearcă să determine prin calcul distribuția fluidului magnetic pe un ac de oțel cilindric. Admite mai întâi că în ac cele 2 fluide magnetice se repartizează într'un echilibru determinat prin acțiunile lor mutuale și prin *forța coercitivă*, care împiedică fluidul magnetic de a se scurge din o parte a acului în cealată, forța pe care o compară cu frecarea sau cu coerența și o reprezintă prin o constantă. Concordanța între experiențele fundamentale și calcul sprijină puternic ipotezele, afară de unele fenomene, precum experiența cu magneți fracționați, care pare a contrazice aceste fenomene.

„Cred", spune *Coulomb*, „că se pot conciliia rezultatele expe„rienților cu calculul, făcând oarecare schimbări în ipoteze, de exem„plu presupunând în sistemul lui *Aepinus*, că fluidul magnetic (unic) „este conținut în fiecare moleculă, că el poate fi transportat dela o „extremitatea ei la alta, ceeace dă fiecărei molecule doi poli, dar „că fluidul nu poate trece de la o moleculă la alta". In consecință o fibră elementară a unei lame magnetizate s'ar compune din mici ace sau molecule elementare.

Prima oară întâlnim astfel, expusă cu claritate, teoria polarizației magnetice, desvoltată mai târziu de *Poisson*.

Valoarea hipotezelor fizice.

In privința valorii pe care *Coulomb* o atribue teoriilor fizice, unele citațiuni lămuresc perfect opinia sa. După ce explică că în electricitate teoria celor două fluide și aceea a fluidului unic sunt echivalente (deși el preferă pe cea dintâi) adaugă: „Cum aceste „2 explicațiuni n'au decât un grad de probabilitate mai mic sau mai „mare, previu, pentru a pune teoria ce urmează la adăpost de ori„ce discuție sistematică, că în ipoteza celor 2 fluide electrice n'am „altă intenție decât de a prezenta, cu minimul de elemente posibile, „rezultatele calculului și experienței, iar nu de a indica cauzele elec„tricității". Iar mai departe vorbind de magnetism spune: „Orice

„ipoteză de atracție sau repulsie nu trebuie privită decât ca o for-„mulă, care exprimă un rezultat al experienței".

Principiile lui *Coulomb* asupra Electrostaticei au fost reluate de *Poisson* care, în două memorii admirate pentru marea sa abilitate de analist, a dat consecințele teoriei lui *Coulomb* în o formă riguroasă. *Coulomb*, pe lângă condițiile de echilibru, ca câmpul din interiorul unui conductor să fie nul, a adăugat o a doua condiție de echilibru, și anume ca forța exercitată în fiecare punct să fie normală pe suprafață, condiție, pe care *Poisson* o considera de asemenea necesară. *Bertrand*[1]) arată însă că ea este echivalentă cu prima condiție, conducând la aceasta prin teorema lui *Gauss*, iar dacă se pleacă numai dela două principii, din cele stabilite de *Coulomb*, și anume *transportul electricității la suprafața corpurilor*, fapt experimental, și *necesitatea acțiunei electrice nule asupra punctelor materiei conducătoare*, se poate deduce prin analiză, că electricitatea este cârmuită de legea atracției universale. *Coulomb*, fără a se opri la deducțiuni analitice, a stabilit experimental, cu o precizie științifică, că legea atracței universale se aplică și la forțele electrice și magnetice, analogie care era greu de bănuit pe acea vreme, mai ales că trebuia introdusă și ideia de *massă electrică* sau *magnetică*, care, precum am văzut, la *Coulomb* era familiară.

Evaluarea cantității de acțiune a omului.

În o lucrare citită la Academia de științe, dar publicată mai târziu (1795), *Coulomb* evaluează cantitatea de acțiune pe care oamenii o pot furniza prin lucrul lor zilnic, după diferitele moduri în care își întrebuințează forțele. Este lucrarea care simbolizează partea operei sale, în care nu se ocupă de teorie pură. Scopul acestui studiu ingineresc era de a spori randamentul muncii omului la maximum. Cu o preocupare tayloriană el discută oboselile în diverse cazuri de utilizare a omului, obișnuite timpului său.

La toate lucrările sale asupra materialelor de construcție, a forțelor naturale sau a mânei de lucru, el caută a cunoaște metodele technice pentru cea mai bună a lor utilizare. Așa dar, înainte de toate, *Coulomb* este inginer, om al realizărilor utile, punând știința în serviciul scopurilor technice ce urmărea. Pentru a rezolva probleme de ordin practic recurge la experiențe și măsurători metodice, iar prin preocupările lui technice reușește să stăpânească știința pură.

1) J. Bertrand: Théorie Mathématique de l'Electricité.

Lucrări de Hidraulică şi asupra morilor de vânt.

Coulomb, în cariera lui oficială de inginer, după reîntoarcerea sa în Franţa se ocupă mai ales de hidraulică, făcând rapoarte asupra pantei unor râuri ale Franţei. Deasemenea scrie o lucrare asupra morilor de vânt, studiind diferite profile şi discutând influenţa lor asupra randamentului.

Apogeu şi Revoluţie.

In 1789 se găseşte în punctul culminant al carierei sale, fiind *membru asociat (titular)* de mecanică la Academia de ştiinţe, locotenent al geniului, cavaler al ordinului St. Louis şi posedând diferite însărcinări, parte technice, parte administrative, precum supraintendenţa apelor şi fântânelor şi moştenirea presumtivă a supraintendenţei planurilor şi reliefurilor.

Revoluţia care survine, însă, îl demite din aceste însărcinări şi însăşi Academia este desfiinţată, iar o lege alungă din Paris pe toţi vechii nobili, printre cari şi pe *Coulomb.*

Refugiindu-se cu prietenul său *Borda* la ţară lângă Blois, se ocupă de data aceasta cu botanica, singurul domeniu în care mai putea să-şi exercite pasiunea sa de experimentator, studiind mecanismul mişcărei sevei.

Memoriu asupra mecanismului urcărei sevei.

Memoriul său respectiv este primul publicat de Institutul Franţei, fundat în 1795 de Convenţiune, şi din care acum cetăţeanul *Coulomb* face dela început parte, la secţia de fizică experimentală.

Alte ocupaţiuni.

Reîntors la Paris el lucrează la întocmirea sistemului metric şi, cum îşi pierduse însărcinările şi averea, duce o viaţă modestă cu soţia şi cei 2 copii ai lui. Recâştigarea siguranţei şi lucrările Institutului îi susţin puţin activitatea, cât îi îngădue sănătatea, sdruncinată prin şederea în colonii, prin emoţiuni şi vârstă.

Consulatul. Moartea lui Coulomb.

Consulatul repară nedreptăţile cauzate lui *Coulomb* prin revoluţiune. Devenit membru definitiv al Institutului, reconstituit de *Napoleon* în 1801, este onorat cu preşedinţia uneia din secţiuni, primeşte legiunea de onoare şi în fine este numit inspector general al Instrucţiunei publice. Totuşi forţele îl părăsesc repede şi în 1806 se stinge la vârsta de 70 ani.

Omul.

Delambre, în discursul său academic, face un viu elogiu al lui *Coulomb*, îi laudă afabilitatea, cu toată gravitatea-i naturală, modestia, virtuțile familiare, grija pe care o avea pentru educația copiilor, în fine fermitatea și probitatea caracterului său. Un episod, povestit și de *Biot*, arată la ce grad *Coulomb* poseda aceste ultime însușiri.

In 1881, Statele provinciei Bretaniei s'au ocupat de crearea unor canale, ale căror avantagii și posibilitatea de execuție urmau să fie discutate. Ministrul Marinei numește pe *Coulomb* comisar regal pe lângă menționatele State, în scop de a proceda la verificarea proectului. *Coulomb*, transportat la fața locului, declară proectul dezavantajos și oneros, combătându-l cu asprime, și, în ciuda influenței unui partid puternic din Bretania, opinia lui triumfă. Acest rezultat îi aduce însă disgrația ministrului de războiu, iar drept răsplată primește reclusiunea în mânăstire, sub pretextul că acceptase misiunea fără agrementul prealabil al superiorului său imediat. *Coulomb*, ofensat de această nedreptate, își dă demisia, care însă nu este acceptată. Primește ordinul de a se reîntoarce în Bretania tot în chestia canalelor, cu care ocazie își menține opinia și arată aceași fermitate, până ce, în cele din urmă, Statele, luminate asupra adevăratelor interese, își recunosc eroarea. *Coulomb* primește de la ele oferte strălucite pe cari însă le refuză, mulțumindu-se numai cu o bijuterie, purtând armele provinciei, un excelent ceasornic cu secundar, de care s'a servit la toate experiențele lui. Niciodată, spune *Biot*, un dar n'a fost mai bine ales și mai bine întrebuințat.

Demn de menționat mai este încă faptul că, deși *Coulomb* își ruinase cariera în cursul revoluției, nu numai n'a emigrat, ci a rămas la Paris până în ultimul moment posibil, punându-se la dispoziția Convențiunei. Așa dar, este sigur că, oricare ar fi fost opiniile sale politice și religioase el a rămas un cetățean respectuos al autorităților instituite, și aceasta nu din frică, ci fără îndoială ținând seamă că deasupra tuturor regimurilor exista patria; ceva din resemnarea lui *Socrate* în reclusiune, care refuză să fugă, dând discipolilor lui admirabila-i lecție, devenită clasică, asupra sacro-sanctității legilor țărei.

In ceeace privește viața privată a lui *Coulomb*, nu se cunosc de cât puține detalii. *Delambre* ne spune că „a fost un bun soț,

„frate, părinte și bun prieten, om integru și cetățean devotat, „practicând toate virtuțile fără pompă și fără efort. Delicat, se- „ver pentru el însuși, indulgent pentru ceilalți, manierele lui uneau „delicatețea cu gravitatea caracterului, care nu excludea o dulce și „calmă veselie, aceea a unui suflet împăcat cu el însuși. Nobil și „generos în toate afacerile lui, interesul propriu îl preocupa cel „mai puțin. Modest și foarte departe de orice pretenție, știa to- „tuși să respingă orice agresiune cu tărie și demnitate".

Opera.

Ori care a putut fi viața privată a lui *Coulomb*, așa de puțin cunoscută, și care desigur a trebuit să fie o pildă pentru lumea în care a trăit, opera sa a primit o consacrare universală. Ea se poate rezuma în: *stabilirea legilor frecării* și a *legilor torsiunei, balanța de precizie* cu aplicațunile ei, *discul de probă*, un *capitol important al rezistenței materialelor, legile axacte ale rezistenței fluidelor*, prima *teorie coerentă și complectă a electrostaticei*, noțiunile de *moment magnetic*, de *câmp demagnetizant*, de *forță coercitivă* și ipoteza *polarizației moleculare a magneților*.

El a ridicat technica la locul de onoare, dovedind că, dacă ea totdeauna profită de resursele științei pure, și aceasta îi datorește multe din biruințele ei.

De *Coulomb* inginerul, devenit savant de o rară strălucire, se poate spune că, pe ogorul technicei și științei, pe care le-a îmbinat în mod atât de fericit și armonios, a tras o brazdă adâncă.

BIBLIOTECA
UNIVERSITARĂ
-IAȘI-

BCU IASI CENTRUL DE CARTE VECHE

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IAŞI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY
93.632

16 MAI. 1938

BCU IAȘI/CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BOULDER CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY